

05.11.13

# УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ЭНЕРГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, К.А. Бодриков**

*Бийский Технологический Институт, Бийск, Россия*

Аннотация – В статье показывается необходимость управления процессом ультразвукового воздействия на реализуемый технологический процесс за счет введения необходимой и достаточной энергии ультразвуковых колебаний. Показано, что для реализации управления необходимо осуществлять контроль энергии ультразвукового воздействия. Авторами предлагается устройство контроля энергии ультразвукового воздействия и анализируются его функциональные возможности на примере реализации процесса сварки термопластичных материалов. Полученные результаты свидетельствуют о возможности интеграции устройства контроля энергии ультразвукового воздействия в существующее ультразвуковое сварочное оборудование.

*Ключевые слова: ультразвук, сварка, энергия, стенд.*

## ВВЕДЕНИЕ

Эффективность ультразвукового (УЗ) воздействия определяет возможность реализации различных технологических процессов с максимальной производительностью и позволяет получать конечные продукты с заданным качеством [1]. Энергия ультразвуковых колебаний, вводимая в зону реализации тех или иных процессов, является одним из важных параметров, характеризующих ультразвуковые технологические аппараты [2-5] и определяет эффективность реализации процессов, протекающих в УЗ полях. В существующем УЗ оборудовании, применяемом для решения различных задач, в том числе и для сварки термопластичных материалов реализуется возможность устанавливать необходимые режимы сварочного воздействия путем установки амплитуды УЗ колебаний сварочного инструмента, времени УЗ воздействия, усилия прижатия сварочного инструмента к свариваемым материалам [6-9]. Как правило, эти параметры задаются один раз, но при необходимости корректируются вручную. В случае, если один из этих параметров изменится, качество сварки так же изменится. При практической реализации сварки возможно стабилизировать амплитуду колебаний и устанавливать точное время воздействия, но усилие прижима и площадь контакта (ввода энергии) может изменяться при изменении свойств и толщины свариваемых материалов.

Следовательно, для обеспечения заданного качества формируемых швов при сварке термопластичных материалов необходимо точно дозировать величину УЗ энергии, вводимой в зону сварки, управляя при этом временем воздействия или амплитудой колебаний.

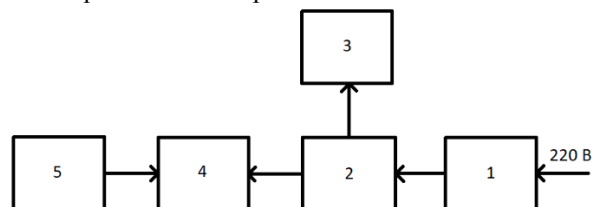
Таким образом, для обеспечения управления процессом сварки и формирования качественного шва необходимо контролировать энергию ультразвукового воздействия.

Целью данной работы является создание устройства контроля энергии, вводимой в зону сварки в процессе работы УЗ аппарата для сварки полимерных материалов, проведение исследований для изучения функциональных возможностей с целью последующей интеграции устройства в УЗ оборудование для управления процессом сварки.

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА

На рис. 1 представлена структурная схема стенда для исследования процесса ультразвуковой сварки термопластичных материалов состоящая из следующих элементов:

- блок питания;
- блок (устройство) измерения мощности, потребляемой УЗ излучателем;
- цифровой осциллограф GDS-71022;
- ультразвуковой запаиватель модели ЗУЗ – 0,1/44ОКб [10];
- свариваемые материалы.



1 – блок питания; 2 – блок измерения мощности; 3 – осциллограф; GDS-71022; 4 – ультразвуковой запаиватель ЗУЗ – 0,1/44 – О; 5 – свариваемые материалы

Рис. 1. Структурная схема экспериментального стенда

В качестве ультразвукового сварочного аппарата был использован ультразвуковой комбинированный запаиватель пластиковых контейнеров с компонентами крови ЗУЗ-0,1/44-ОКб, представленный на рис. 2.



Рис. 2. Ультразвуковой комбинированный запаиватель пластиковых контейнеров с компонентами крови ЗУЗ-0,1/44

Принцип действия данного аппарата заключается в формировании высокопрочного (более 80% от прочности материала) эластичного шва за счёт ускорения процессов диффузии в термопластичных материалах при поглощении ультразвуковых колебаний высокой интенсивности.

В таблице 1 приведены основные технические характеристики данного аппарата.

Табл. 1. Основные технические характеристики ЗУЗ-0,1/44-ОКб

Мощность, Вт, не более	100
Частота ультразвуковых колебаний, кГц	44±3,3
Питание от сети переменного тока напряжением, В	220±22
Полный цикл герметизации, сек	5
Диаметр герметизируемых трубок, мм	4-6

Дозирование ультразвуковой энергии в зону сварки в данном аппарате реализуется вручную, путем задания времени УЗ воздействия при определенной амплитуде УЗ колебаний излучателя. Мощность УЗ воздействия, в процессе УЗ сварки не является величиной постоянной и зависит от напряжения питающей сети, свойств свариваемых материалов, толщины свариваемых материалов. Таким образом, в данной аппарате УЗ сварки, энергия, вводимая в зону сварки, различна при одном и том же времени УЗ воздействия, что является существенным недостатком данного аппарата.

На рис. 3 представлена схема электрическая принципиальная разработанного устройства, предназначенного для измерения мощности УЗ излучателя, построенного на базе четырехквadrантного аналогового умножителя AD633 фирмы Analog Device [11].

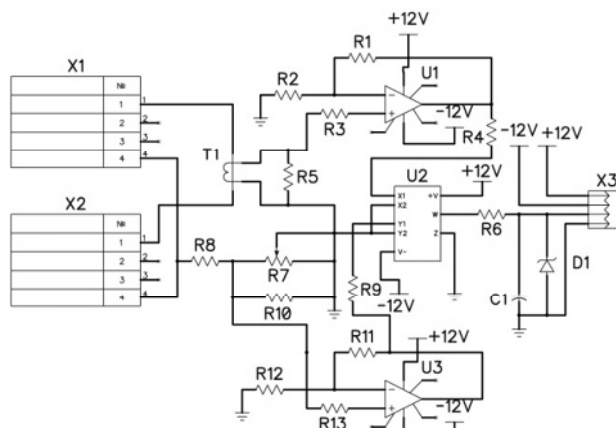


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема блока измерения мощности

Измеритель, при помощи разъемов X1 и X2, подключается в разрыв цепи между электронным УЗ генератором и УЗ излучателем. Выход электронного генератора подключается к разъему X1, пьезоэлектрический УЗ излучатель подключается к разъему X2.

Формирование сигнала, пропорционального току, потребляемому УЗ излучателем, осуществляется при помощи индуктивного токового датчика Т1. Формирование сигнала, пропорционального напряжению на пьезокерамических элементах преобразователя УЗ излучателя, осуществляется при помощи резистивного делителя, образованного элементами R7, R8, R10. Усилитель канала тока собран на элементах: U1, R1, R2, R3. Усилитель канала напряжения собран на элементах: U3, R11, R12, R13.

Сигналы, сформированные каналом тока и каналом напряжения, поступают на аналоговый четырехквadrантный умножитель U2. Элементы R6, C1 представляют собой интегрирующую цепь, обеспечивающую выделение постоянной составляющей выходного сигнала аналогового умножителя, пропорциональной измеряемой мощности. Элемент D1 является защитным элементом и ограничивает уровень выходного сигнала измерительного модуля на уровне +5В.

Блок измерения мощности имеет следующие основные технические характеристики, представленные в таблице 2.

Табл. 2. Основные технические характеристики блока измерения мощности

Диапазон измеряемых мощностей, Вт	10...1000
Диапазон входного напряжения, В	100...2000
Диапазон тока, А	0,1...10
Диапазон рабочих частот, кГц	15...120

В ходе проведения экспериментов, выходные сигналы устройства контроля энергии УЗ воздействия (мощности) регистрировались при помощи цифрового осциллографа и записывались на карту памяти для

дальнейшего их переноса на ПК, и последующей обработки.

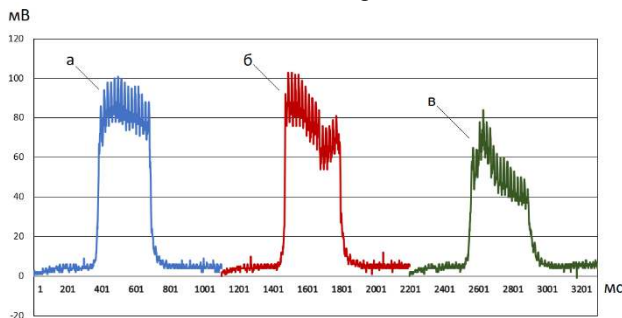
**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В ходе практических исследований были исследованы функциональные возможности предложенного устройства при реализации УЗ воздействия (сварке внахлест двух листов) на различные термопластичные материалы:

- 1) листовой полипропилен, толщиной 2 мм;
- 2) листовой поливинилхлорид, толщиной 1,6 мм;
- 3) листовой поливинилхлорид, толщиной 3,2 мм;

Исследования проводились при времени УЗ воздействия: 1сек., 2сек., 3сек.

На рис. 4 представлены первичные данные в виде сигнала, пропорционального потребляемой активной мощности УЗ излучателем, формируемого устройством измерения мощности, при УЗ воздействии на листовой полипропилен.



а – время УЗ воздействия  $t_1$ ; б – время УЗ воздействия  $t_2$ ; в – время УЗ воздействия  $t_3$

**Рис. 4. Сигнал, формируемый блоком измерения мощности, при УЗ воздействии на листовой полипропилен толщиной 2 мм**

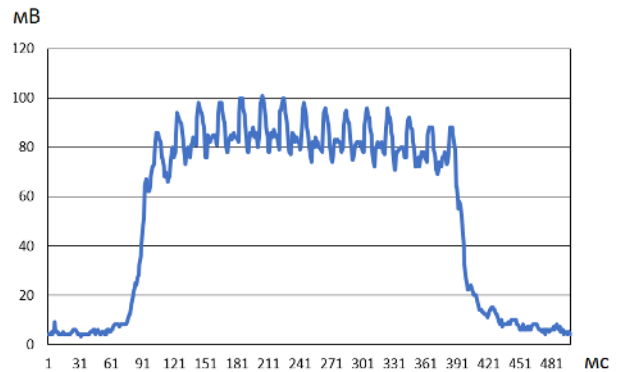
Площадь под кривой (см. рис.4) пропорциональна энергии, потребляемой УЗ излучателем, которая пропорциональна выводимой в зону сварки энергии.

Из представленных на рисунке 4 кривых следует, что:

- уровень и характер изменения энергии (мощности), потребляемой УЗ излучателем в ходе УЗ воздействия сильно отличается для различных сварок одного и того же материала;

- в ходе УЗ воздействия наблюдается периодические пульсации (см. рис. 5) сигнала с выхода устройства контроля энергии (мощности), что может быть обусловлено недостаточно хорошей работой фильтрующих цепей в линиях выпрямителя силового тракта УЗ сварочного аппарата.

Аналогичные кривые были получены в ходе УЗ воздействия на листовой поливинилхлорид толщиной 1,6 и 3,2 мм.



**Рис. 5. Сигнал, формируемый блоком контроля мощности в процессе УЗ сварки**

Для получения численных показателей, пропорциональных количеству введенной УЗ энергии в полимерные материалы, первичные данные были проинтегрированы по времени, соответствующему времени УЗ воздействия, причем для интегрирования использовались выборки сигнала, уровень которых был выше 10 мВ.

В таблице 3 представлены результаты вычисления энергии (усл. единицы) вводимой в зону УЗ воздействия для различных материалов и условий.

**Табл. 3. Энергия, вводимая в зону УЗ воздействия**

Время воздействия, сек	Энергия, усл.ед.		
	1	2	3
Листовой полипропилен, толщина 2 мм	18944	26006	26023
Листовой поливинилхлорид, толщина 1,6 мм	32579	34829	43287
Листовой поливинилхлорид, толщина 3,2 мм	29714	33354	41967

Представленные в таблице 3 данные свидетельствуют о том, что увеличение времени сварки, относительно 1 сек. в 2 и в 3 раза не приводит к пропорциональному увеличению энергии, которая вводится в полимер. Это говорит о том, что в процессе УЗ воздействия удельная энергия не является величиной постоянной, и объясняется это изменением акустических свойств термопластов в ходе воздействия на них УЗ энергии.

Предварительные данные (см. табл. 3) так же иллюстрируют различную потребляемую энергию УЗ излучателем при воздействии на различные термопластичные материалы при прочих равных условиях.

При УЗ воздействии на полимер с определенными акустическими свойствами его толщина оказывает существенное влияние величину вводимой УЗ энергии при прочих равных условиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы предложено и разработано устройство контроля энергии, вводимой в зону воздействия в процессе работы УЗ аппарата для сварки полимерных материалов. Созданный специализированный стенд позволил исследовать функциональные возможности предложенного устройства в ходе тестовых сварок, выполненных при помощи УЗ аппарата ЗУЗ-0,1/44- ОКб.

Выявленные особенности процесса контроля вводимой энергии УЗ воздействия подтвердили необходимость непрерывного управления дозированием энергии для обеспечения требуемого качества сварки и показали необходимость и перспективность интеграции в сварочное оборудование устройств контроля энергии вводимой в зону сварки.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Государственного Фонда Естественных Наук Китая в рамках научного проекта №19-52-53018.*

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хмелев, В.Н. Повышение эффективности энергетического воздействия при ультразвуковой сварке / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 3. – С. 278–281.
2. A.E. Kolesnikov Ultrasonic measurements. 2th. ed. reclaiming and add. -M.: Standards Publishing House, 1982. -248p. in Russian.
3. Ультразвуковая сварка термопластичных материалов: монография [Текст] / В.Н. Хмелев [и др.]; под ред. В.Н. Хмелева. – Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. – 281 с.
4. Khmelev, V. N., et al, “Theoretical Investigations of Continuous Ultrasonic Seam Welding of Thermoplastic Polymers and Fabrics,” International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. EDM 2010, pp. 341–344, July 2010.
5. Хмелев, В.Н. Совершенствование ультразвуковой сварки и создание аппаратов для её реализации / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – № 4. – С. 152–157.
6. Khmelev, V. N., A. N. Slivin, and A. D. Abramov, “Perfecting of the Technology and Development of the Apparatuses for Ultrasonic Welding,” 14th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM, 2013, pp. 182–186, July 2013.
7. Zernov N.V., Karpov V. G. Theory of radio engineering circuits/ – Leningrad: Energy, 1972 – 816 p. in Russian.
8. Gershgal D.A., Phredman V.M. Ultrasonic the technological equipment. - M.: Energy, 1976. - 318 p in Russian.
9. A.V.Donskoy, O.K.Keller, G.S.Kratysh Ultrasonic electrotechnological utility.. L.: Energoatomizdat. Leningrad., 1982. 208 p. in Russian.
10. Ультразвуковой комбинированный запаиватель пластиковых контейнеров с компонентами крови // U-SONIC.ru – Ультразвуковые технологии и аппараты - Режим доступа: <http://u-sonic.ru/ultrazvukovye-tekhnologii/catalog/catalogproduct.pdf>.
11. AD633 Low Cost Analog Multiplier [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD633.pdf>.

*Хмелев Владимир Николаевич – заместитель директора по науке, д.т.н. профессор, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432881, e-mail: vnh@bti.secna.ru.*

*Барсуков Роман Владиславович – кандидат технических наук. Доцент кафедры «Методы и средства измерений и автоматизации» Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)43-22-55, e-mail: roman@bti.secna.ru.*

*Бодриков Константин Анатольевич – магистрант, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: konstantin.bodrikov@yandex.ru.*

# ULTRASONIC EXPOSURE ENERGY CONTROL DEVICE

V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, K.A. Bodrikov

*Biysk Technological Institute, Biysk*

**Abstract** – The article shows the need to control the process of ultrasonic impact on the ongoing technological process by introducing the necessary and sufficient energy of ultrasonic vibrations. It is shown that for the implementation of control it is necessary to control the energy of ultrasonic exposure. The authors propose a device for controlling the energy of ultrasonic exposure and analyze its functionality using an example of the implementation of the welding process of thermoplastic materials. The results obtained indicate the possibility of integrating an ultrasonic exposure energy control device into existing ultrasonic welding equipment.

*Index terms: ultrasonic, welding, energy, stand.*

## REFERENCES

1. Khmelev, V.N., A.N. Slivin and A.D. Abramov “Efficiency increase of energy action at the ultrasonic welding,” Science-technical vestnik of Povolzhya, vol 3, pp. 278–281, 2013.
2. A.E. Kolesnikov Ultrasonic measurements. 2th. ed. reclaiming and add. -M.: Standards Publishing House, 1982. -248p. in Russian.
3. Khmelev V.N., et al., Ultrasonic welding of thermoplastic materials, monograph. Biysk: Altay State Technical University publishing, 2014.
4. Khmelev, V. N., et al, “Theoretical Investigations of Continuous Ultrasonic Seam Welding of Thermoplastic Polymers and Fabrics,” International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. EDM 2010, pp. 341–344, July 2010.
5. Khmelev, V.N., A.N. Slivin and A.D. Abramov “Improvement of ultrasonic welding and design of the apparatuses for is realization,” Izvestiya of Tomsk Polytechnic University, vol 4, pp. 152–157, 2013.
6. Khmelev, V. N., A. N. Slivin, and A. D. Abramov, “Perfecting of the Technology and Development of the Apparatuses for Ultrasonic Welding,” 14th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM, 2013, pp. 182–186, July 2013.
7. Zernov N.V., Karpov V. G. Theory of radio engineering circuits/ – Leningrad: Energy, 1972 – 816 p. in Russian.
8. Gershgal D.A., Phredman V.M. Ultrasonic the technological equipment. - M.: Energy, 1976. - 318 p in Russian.
9. A.V.Donskoy, O.K.Keller, G.S.Kratysh Ultrasonic electrotechnological utility.. L.: Energoatomizdat. Leningrad., 1982. 208 p. in Russian.
10. Ultrasonic combination welding machine for plastic containers with blood components // U-SONIC.ru – Ultrasonic technologies and devices. – Access mode: <http://u-sonic.ru/ultrazvukovye-tehnologii/catalog/catalogproduct.pdf>.
11. AD633 Low Cost Analog Multiplier [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD633.pdf>

*Khmelev Vladimir Nikolaevich – Doctor of Engineering, professor, Deputy Director for Research, Biysk Technological Institute, e-mail: vnh@bti.secna.ru*

*Barsukov Roman Vladislavovich – associate professor at the char of methods and means of measurement and automation, Biysk Technological Institute, (3854)43-22-55, e-mail: roman@bti.secna.ru.*

*Bodrikov Konstantin Anatolevich – master student, Biysk Technological Institute, e-mail: konstantin.bodrikov@yandex.ru.*